

KARAKTERISTIK DAN UTILISASI PEKTIN KULIT SEMANGKA (*CITRULUS LANATUS*): TINJAUAN SISTEMATIK

Kaneth¹,

¹Teknologi Pangan, Universitas Bina Nusantara, Jakarta, Indonesia, 11480
E-mail: kaneth@binus.ac.id

Abstract

Watermelon (*Citrullus lanatus*) peels are one of the major solid wastes that can result in environmental problems. Watermelon peels contain a high amount of pectin, a polysaccharide with various functional properties. Extracting pectin from watermelon peels may be valuable for various industrial applications, especially in the food industry. This systematic review aims to summarize the characteristics of watermelon peel-derived pectin and its potential utilization in the food industry. This systematic review was made using the PRISMA guidelines as its basis. The author performed the literature research using Science Direct, Taylor & Francis, EBSCOHost, and SAGE journals databases. This systematic review provides a comprehensive review of 11 studies focusing on the characteristics and utilization of watermelon peel pectin (WPP). The result of the systematic review shows that the extraction method and conditions can greatly affect the characteristics of the resulting WPP. Under similar acidic conditions as commercial pectin, WPP exhibits desirable key characteristics, such as high methoxy and protein content, high degree of esterification, high AUA content, and low degree of methylation. These characteristics makes WPP have an excellent emulsifying, foaming, and gelling properties. Therefore, it is important to determine a suitable extraction method to produce WPP with a desirable properties for the utilization in the food industry.

Keywords: *Watermelon peels, Pectin, Fruit Waste, Food Industry, Extraction*

Abstrak

Kulit buah semangka (*Citrullus lanatus*) merupakan salah satu limbah padat utama yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Kulit semangka mengandung pektin dalam jumlah tinggi, yang merupakan suatu polisakarida dengan berbagai sifat fungsional. Ekstraksi pektin dari kulit semangka dapat bermanfaat untuk berbagai aplikasi industri, khususnya di industri pangan. Tinjauan sistematis ini bertujuan untuk merangkum karakteristik pektin yang berasal dari kulit semangka dan potensi pemanfaatannya dalam industri pangan. Tinjauan sistematis ini dibuat dengan menggunakan pedoman PRISMA untuk mengevaluasi artikel yang ada pada basis data, seperti Science Direct, Taylor & Francis, EBSCOHost, dan SAGE. Tinjauan sistematis ini menyediakan tinjauan komprehensif terhadap 11 penelitian yang berfokus pada karakteristik dan pemanfaatan pektin kulit semangka. Hasil tinjauan sistematis menunjukkan bahwa metode dan kondisi ekstraksi sangat mempengaruhi karakteristik pektin yang dihasilkan. Dalam kondisi asam yang serupa dengan pektin komersial, pektin kulit semangka menunjukkan karakteristik utama yang diinginkan, seperti kandungan metoksi dan protein yang tinggi, tingkat esterifikasi yang tinggi, kandungan AUA yang tinggi, dan tingkat metilasi yang rendah. Karakteristik tersebut menyebabkan pektin kulit semangka memiliki sifat pengemulsi, pengental, penstabil, dan pembentuk gel yang sangat baik untuk digunakan pada industri pangan. Oleh karena itu, penting untuk menentukan metode ekstraksi yang sesuai untuk menghasilkan pektin dengan sifat yang diinginkan untuk dimanfaatkan dalam industri makanan.

Kata Kunci: *Kulit Semangka, Pektin, Limbah buah, Industri pangan, Ekstraksi*

PENDAHULUAN

Salah satu penyumbang limbah makanan terbesar adalah buah-buahan, salah satunya yaitu semangka. Semangka (*Citrullus lanatus*) merupakan salah satu buah yang paling banyak dibudidayakan dan dikonsumsi di dunia (Hasanin & Hashem, 2020). Pada tahun 2020, produksi semangka secara global sekitar 101 juta ton (Mashilo et al., 2022). Produksi dan konsumsi semangka akan menghasilkan limbah dalam jumlah besar tanpa pengolahan pembuangan yang sesuai. Kulit semangka menyumbang sekitar 30% dari total berat buah dan dianggap sebagai limbah serta tidak memiliki nilai komersial. Lebih dari 90% kulit semangka dibuang ke lingkungan sehingga mengakibatkan tantangan lingkungan dan hilangnya biomassa yang bernilai (Petkowicz & Williams, 2020).

Kulit semangka dapat diubah menjadi produk yang bernilai karena memiliki kandungan pektin yang tinggi, suatu polisakarida kompleks dengan berbagai sifat fungsional. Pektin memiliki kemampuan untuk membentuk gel sehingga dapat berfungsi sebagai zat pengental, zat penstabil, dan emulsifier (Petkowicz & Williams, 2020). Pektin biasanya digunakan dalam pengolahan produk seperti selai, jeli, dan jus buah. Terdapat beberapa metode untuk mengekstrak pektin dari kulit semangka. Namun, metode dan kondisi ekstraksi yang berbeda akan menghasilkan pektin dengan kualitas dan karakteristik yang berbeda. Mamiru & Gonfa (2023) melakukan ekstraksi dan karakterisasi pektin dari kulit semangka menggunakan larutan asam asetat 1M. Pektin kulit semangka menunjukkan nilai rendemen optimum sebesar 18,21%, kadar air 8,42%, kadar abu 5,1%, derajat esterifikasi 57,30%, derajat metilasi 23,5%, dan kadar metoksi 7,3%. Penelitian lain juga menyelidiki sifat fisikokimia pektin yang diekstrak dengan asam klorida dan asam sitrat. Pektin yang dihasilkan menunjukkan sifat aliran Newtonian pada konsentrasi 1%, dimana hal tersebut serupa dengan pektin kulit jeruk (Lee & Choo, 2020). Pektin kulit semangka memiliki rantai samping gula yang lebih panjang dibandingkan dengan pektin jeruk komersial atau pektin apel, dimana hal tersebut berkaitan dengan sifat pengemulsi yang lebih baik (Mendez et al., 2021).

Beberapa studi mengeksplorasi peluang ekstraksi pektin dari kulit semangka untuk pemulihan produk bernilai dari limbah makanan (Guo et al., 2023; Mendez et al., 2021; Prakash Maran et al., 2014; Pérez et al., 2022). Memahami karakteristik pektin penting untuk penggunaan potensial dalam berbagai aplikasi di industri. Namun, tidak satu pun dari penelitian tersebut menggambarkan karakteristik pektin menggunakan

metode yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan pentingnya ringkasan mengenai karakteristik pektin kulit semangka untuk pengembangan alternatif pektin tradisional yang berkelanjutan dan hemat biaya. Selain itu, pemahaman tentang sifat fungsional pektin dapat memberikan peluang untuk menentukan metode dan kondisi ekstraksi terbaik untuk pengaplikasian dalam industri pangan sekaligus sebagai gerakan untuk mengurangi limbah (Ren et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik pektin yang diekstraksi dari kulit semangka dengan metode yang berbeda dan potensi pemanfaatannya dalam industri pangan.

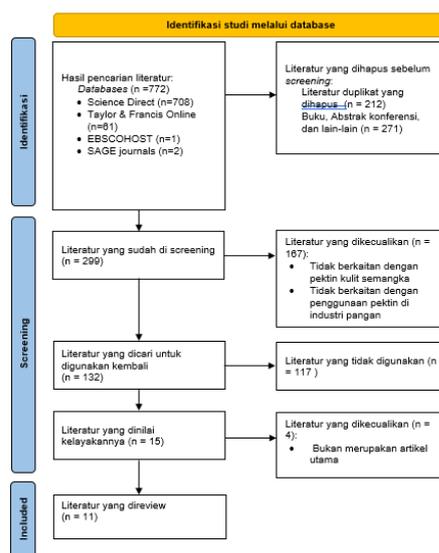
METODE PENELITIAN

Systematic review ini dibuat dengan menggunakan pedoman PRISMA. Pencarian literatur dilakukan menggunakan database termasuk Science Direct, Taylor & Francis online, jurnal Sage, dan EBSCOhost. Selain itu, penulis juga mencari secara manual artikel yang tidak dipublikasikan yang memenuhi kriteria untuk studi di repositori universitas.

Pencarian literatur untuk *systematic review* ini berfokus pada studi yang secara kuantitatif menyelidiki karakteristik pektin yang diekstrak dari kulit semangka dan aplikasi dalam industri pangan. Kriteria untuk pencarian literatur adalah sebagai berikut: (1) karakteristik artikel utama ditulis dalam bahasa Inggris dan tidak ada batasan kerangka waktu yang diterapkan dalam pencarian (2) karakteristik sampel yang digunakan berupa studi eksperimental atau analisis komparatif (3) fokus utama penelitian yaitu pektin yang diekstraksi dari kulit semangka, dengan penekanan pada berbagai metode ekstraksi yang digunakan (4) metode ekstraksi dapat berupa ekstraksi asam, ekstraksi enzimatik, ekstraksi dengan bantuan *ultrasound*, atau ekstraksi dengan bantuan *microwave* (5) karakteristik pektin yang diekstraksi dapat berupa komposisi kimia, sifat fisikokimia, dan sifat fungsional (6) potensi pemanfaatan pektin kulit semangka dalam industri makanan, seperti zat pengental, penstabil, atau agen pembentuk gel harus dinilai.

Berdasarkan hasil pencarian literatur yang diuraikan pada gambar 1, sebanyak 772 studi diidentifikasi dari empat database elektronik [Science Direct (n = 708), Taylor & Francis Online (n = 61), EBSCOhost (n = 1), dan jurnal SAGE (n = 2). Penulis menggunakan *software* Zotero untuk mengumpulkan dan menghapus duplikat studi. Sebanyak 212 duplikat dan 271 studi dengan jenis publikasi termasuk buku, bab buku,

abstrak konferensi, ensiklopedia, dan editorial dihapus, sehingga 299 studi tersisa untuk tahap penyaringan. Dari 299 studi yang tersisa, penulis melakukan identifikasi studi yang memenuhi syarat berdasarkan judul dan abstrak. Proses penyaringan menghapus 167 artikel yang tidak relevan dan mengidentifikasi 132 artikel yang berpotensi memenuhi syarat. Sebanyak 117 artikel dihapus dari 132 artikel yang berpotensi, sehingga menyisakan 15 studi yang dinilai kelayakannya. Setelah menghapus empat artikel non-primer, 11 artikel memenuhi kriteria dan dimasukkan dalam *systematic review* ini.



Gambar 1. Diagram alir PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daftar studi yang termasuk dalam *systematic review* ini diuraikan dalam tabel 1, dimana terdapat 11 artikel yang relevan dengan topik karakteristik pektin kulit semangka dan potensi pemanfaatannya di industri pangan. Dalam ulasan ini, istilah ‘ekstraksi’ mengacu pada proses mengisolasi pektin dari kulit semangka. Secara umum, ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak pektin, seperti ekstraksi asam, ekstraksi dengan bantuan *microwave*, ekstraksi dengan bantuan ultrasound, dan ekstraksi dengan bantuan enzim. Berdasarkan tabel 1, sebagian besar penelitian menggunakan ekstraksi asam mineral seperti HCl, asam nitrat, asam asetat, asam klorida, dan asam sitrat. Larutan asam dapat membantu mengurangi pH dan menyebabkan kerusakan dinding sel sehingga melepaskan pektin dari jaringan tanaman. Hal ini membuat ekstraksi asam umumnya digunakan untuk mengekstrak pektin secara komersial karena menawarkan efektivitas dan menghasilkan rendemen yang tinggi (Chandel et al., 2022).

Berdasarkan tabel 1, penelitian-penelitian tersebut mengevaluasi sifat reologi, sifat pengemulsi, sifat pembusaan, komposisi gula, dan komposisi asam dari pektin kulit semangka. Komposisi pektin akan berbeda-beda tergantung pada sumber pektin, tingkat pematangan, dan kondisi selama ekstraksi (Sari et al., 2018).

Tabel 1
Karakteristik Pektin Kulit Semangka dan Penggunaannya

Ekstraksi	Karakteristik Pektin	Pemanfaatan	Referensi #
Larutan HCl 1M	Derajat esterifikasi (DE) sebesar 61.6% dan memiliki kapasitas emulsifikasi yang sangat baik	Salad dressing, selai buah, atau produk berbasis susu	(Méndez et al., 2021)
Larutan HCl 1M dengan modifikasi enzimatik	Pektin kulit semangka yang dimodifikasi enzimatik memiliki nilai DE 3.7%	Agen pengental, agen pembentuk gel, atau stabilisator dalam makanan	(Méndez, Martínez-Abad, et al., 2023)
Larutan HCl 1M dengan modifikasi enzimatik	DE 4.8%, Rha 19.4 µg/mg, Ara 1.72 µg/mg, GalA 633.35 µg/mg,	Tidak didiskusikan	(Méndez, Schroeter, et al., 2023)
Larutan HCl 1M	DE 61.62%, AUA 66.42%, MeO 6.76%, dan rendemen tinggi	Agen pengemulsi, <i>texturizers</i> , and stabilizing agents	(Méndez et al., 2021)
Asam Nitrat 0.1 M	Rendemen sebesar 19,3%, GalA > 65%, RG-I 65,8%, viskositas tinggi	Agen pengental, <i>emulsifier</i> , <i>stabilizers</i> , <i>texturizers</i> .	(Petkowicz et al., 2017)
Asam Asetat 1M	Kadar air 8,42%, MeO 7,30%, nilai DE 57,30%, AUA 72,36%	Tidak didiskusikan	(Mamiru & Gonfa, 2023)
Ekstraksi HCl dengan bantuan <i>microwave</i>	Memiliki kemampuan membentuk film yang baik	Material biofilm, kemasan makanan	(Guo, Ge, Li, et al., 2021)
HCl dan asam sitrat	Rendemen yang tinggi pada ekstraksi dengan asam sitrat dengan sifat aliran sebesar 0.9955	Produk makanan yang mengandung gula dalam jumlah tinggi	(Lee & Choo, 2020)
Asam sitrat 1M	Tidak didiskusikan	Material biofilm, kemasan makanan	(Guo, Ge, Yang, et al., 2021)

Gambar 2 menunjukkan penerapan pektin kulit semangka dalam industri pangan. Pektin umumnya digunakan sebagai pengental makanan, agen pembentuk gel, penstabil makanan, agen pengemulsi, *texturizer*, dan bahan biofilm dan kemasan. Namun, sifat pektin tersebut bergantung pada kompleksitas struktur pektin. Aplikasi pektin dalam industri makanan bergantung pada beberapa parameter utama, seperti tingkat esterifikasi (DE), kadar abu, dan komposisi gula. Pektin dengan nilai DE lebih tinggi dari 50% dapat

dikategorikan sebagai HMP (*high methoxyl pectin*), sedangkan pektin dengan nilai DE kurang dari 50% termasuk sebagai LMP (*low methoxyl pectin*) (Hosseini et al., 2016). HMP ditandai dengan pembentukan gel dalam padatan larut tinggi dan kondisi pH rendah (<3,5), sedangkan gelasi pada LMP terjadi pada kisaran pH yang luas dan membutuhkan adanya kation divalen (Pérez et al., 2022).



Gambar 2. Potensi Penggunaan Pektin Kulit Semangka

Karakteristik dan kualitas pektin tergantung pada beberapa parameter kunci seperti yang diilustrasikan pada gambar 3. Parameter kunci tersebut meliputi derajat esterifikasi (DE), kandungan metoksil (MeO), berat molekul, kandungan protein, dan komposisi gula. Mendez et al. (2021) mengevaluasi kapasitas emulsifikasi pektin kulit semangka dengan pektin komersial, seperti pektin jeruk (CP) dan pektin apel (AP). Ekstraksi pektin dilakukan dengan larutan HCL 1M dengan rasio padat-cair 1:20 (b/v). Dibandingkan dengan CP dan AP, pektin kulit semangka lebih baik dalam menstabilkan emulsi dengan kandungan minyak lebih tinggi. Pektin kulit semangka memiliki nilai DE sekitar 62% dan MeO sebesar 6,8%. Nilai DE yang lebih tinggi menandakan kandungan gugus hidrofobik yang lebih besar dalam struktur pektin dan menyebabkan pektin memiliki kemampuan untuk ditempatkan pada interfasa minyak-air. Mekanisme emulsifikasi pektin kulit semangka juga dipengaruhi oleh kombinasi antara kandungan protein dengan rantai samping cabang yang panjang. Protein bertindak sebagai bahan aktif permukaan yang dikelilingi oleh polisakarida rantai samping cabang panjang pektin. Hal tersebut akan memberikan tolakan sterik yang stabil antara tetesan minyak dan memberikan stabilitas jangka panjang dari emulsi (Funami et al., 2007). Selain itu, Prakash Maran et al. (2014) menyelidiki pektin dari kulit semangka yang diekstrak

dengan bantuan *microwave* (MAE) pada daya gelombang mikro 477 W dan rasio padat-cair 1:20,3 g/ml. Pektin yang diekstrak menunjukkan nilai rendemen sebesar 25,79%



Gambar 3. Parameter Kualitas Pektin

Studi lain menyelidiki karakteristik pektin dari kulit semangka segar (FW) dan terliofilisasi (LW). Pektin diekstraksi menggunakan asam nitrat 0,1 M dengan perbandingan padat-cair 1:25 (b/v). Pektin yang dihasilkan dari FW dan LW mempunyai rendemen 19,3% dan 14,2%. Hasil FW serupa dengan pektin kulit semangka yang diekstraksi dengan ekstraksi asam konvensional (17-20%). FW dan LW juga memiliki kandungan protein masing-masing sebesar 3,9% dan 3,6%. Kehadiran protein ini dapat memberikan kontribusi sterik dan menghasilkan sifat pembusaan yang baik. Namun, gugus asetil tidak ditemukan pada kedua pektin tersebut. Hal tersebut merupakan karakteristik yang baik karena nilai kandungan asetil yang lebih tinggi dari 4% terbukti dapat mengganggu proses gelasi. Pektin yang diisolasi juga memiliki nilai DE yang lebih tinggi dari 50%, sehingga tergolong sebagai HMP (Petkowicz et al., 2017). Hasil tersebut serupa dengan penelitian oleh Mamiru & Gonfa (2023) yang melakukan ekstraksi menggunakan asam asetat 1M dengan perbandingan padat dan cair 1:20, dimana pektin yang dihasilkan memiliki nilai DE sebesar 57,3%. Nilai DE merupakan faktor penting yang menentukan mekanisme gelasi pektin. Nilai DE mewakili rasio gugus asam galakturonat yang teresterifikasi terhadap total gugus asam galakturonat yang ada dalam pektin dan merupakan sifat penting yang menentukan sifat pembentuk gel pektin. (Mamiru & Gonfa, 2023). Asam lemah seperti asam sitrat dianggap lebih menarik dibandingkan asam kuat dari sudut pandang keamanan penerapannya. Meskipun asam kuat lebih efektif, namun pelarut asam kuat dapat meminimalkan permasalahan lingkungan. Méndez, Schroeter, et al. (2023) membandingkan pektin kulit semangka

yang telah dimodifikasi secara enzimatis dengan tiga sampel pektin komersial. Pektin kulit semangka diekstraksi menggunakan larutan HCl 1M dan dimodifikasi secara enzimatis dengan endo-1,5- α -arabinanase dan metil-esterase. Pektin kulit semangka yang dimodifikasi enzimatis memiliki nilai DE terendah (4,8%), kandungan protein tertinggi, dan kandungan homogalakturonan yang rendah. Hal tersebut mengakibatkan kekuatan gel pektin kulit semangka kurang baik jika dibandingkan dengan pektin komersial lainnya.

Komposisi gula merupakan salah satu faktor kunci yang memiliki efek signifikan pada karakteristik pektin. Pektin terdiri dari tiga jenis polisakarida, seperti homogalacturonan (HG), rhamnogalacturonan (RG-I), dan rhamnogalacturonan II (RG-II) bersama dengan gula netral seperti rhamnosa (Rha), arabinosa (Ara), galaktosa, xilosa. Méndez et al. (2021) meneliti komposisi gula pektin kulit semangka menggunakan larutan HCl 1M. Kandungan GalA dan asam anhidrororonat (AUA) dari pektin kulit semangka bervariasi antara 254-615 $\mu\text{g}/\text{mg}$ dan 33,5-69,1%, secara berurutan. Kandungan GalA pektin mewakili proporsi unit asam galakturonat yang ada dalam struktur pektin. Kandungan GalA yang lebih tinggi umumnya menunjukkan potensi atau kemampuan pektin yang lebih tinggi untuk membentuk gel. Sementara itu, AUA menunjukkan tingkat de-esterifikasi yang lebih tinggi. Nilai GalA dan AUA terendah diperoleh dalam kondisi yang ringan (*mild condition*). Sebaliknya, kondisi yang paling keras (*harsh condition*) menghasilkan nilai AUA dan linearitas yang lebih tinggi seperti pada pektin komersial. Sebagai perbandingan dengan ekstraksi asam klorida, pektin kulit semangka yang diekstraksi menggunakan larutan asam asetat 1 M menunjukkan nilai AUA yang sedikit lebih tinggi, yaitu sebesar 72,36%. Kandungan AUA yang lebih tinggi menunjukkan kemurnian pektin yang diekstraksi (Mamiru & Gonfa, 2023). Secara umum, nilai AUA sebesar 65% direkomendasikan untuk pektin yang digunakan sebagai bahan tambahan makanan dan keperluan farmasi. Pektin yang diekstraksi menggunakan asam sitrat memiliki nilai AUA 82,5% yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pektin dari kulit semangka yang diekstraksi menggunakan asam memiliki potensi untuk digunakan dalam pangan (Pérez et al., 2022).

Beberapa penelitian telah melaporkan karakteristik pektin kulit semangka dan potensi pemanfaatannya di industri pangan. Dalam kondisi asam yang serupa dengan pektin komersial seperti jeruk dan pektin apel, pektin kulit semangka memiliki kandungan

protein yang lebih tinggi dan rantai cabang RG-1 yang panjang. Hal tersebut menyebabkan pektin kulit semangka memiliki sifat pengemulsi yang lebih baik dan stabilitas emulsi yang unggul. Hal ini menunjukkan bahwa pektin kulit semangka memiliki potensi besar untuk aplikasi pangan, seperti *emulsifier* (Mendez et al., 2021). Petkowicz et al. (2017) menyelidiki sifat pembusaan pektin kulit semangka, dimana pektin kulit semangka memiliki kemampuan menghasilkan *foam* yang lebih baik dibandingkan dengan gum Arabic. Selain itu, busa yang dihasilkan bersifat lebih stabil dibandingkan dengan SDS. Hal ini menunjukkan bahwa pektin kulit semangka dapat digunakan dalam kontrol tekstur serta untuk menstabilkan emulsi. Pektin kulit semangka juga memiliki kandungan metoksi yang tinggi yang ditunjukkan dengan sifat pembentukan gel dalam kondisi pH asam. Penelitian lain juga menyelidiki aplikasi pektin kulit semangka dalam produksi biofilm. Guo et al. (2021) menggunakan pektin kulit semangka untuk memproduksi indikator film sensitif pH untuk mengamati perubahan kualitas daging sapi dingin selama penyimpanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pektin kulit semangka memiliki kemampuan membentuk film yang baik dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan kemasan alami di industri pangan.

SIMPULAN

Pektin kulit semangka dapat diekstraksi menggunakan beberapa metode, seperti ekstraksi asam dan ekstraksi dengan bantuan *microwave*. Namun, metode dan kondisi ekstraksi dapat sangat mempengaruhi karakteristik pektin kulit semangka yang dihasilkan. Pada kondisi asam yang sama seperti pektin komersial seperti jeruk dan pektin apel, pektin kulit semangka menunjukkan karakteristik kunci yang diinginkan, seperti kandungan metoksi dan protein yang tinggi, tingkat esterifikasi yang tinggi, kandungan AUA yang tinggi, dan tingkat metilasi yang rendah. Karakteristik tersebut merupakan parameter kunci yang menjadikan pektin kulit semangka memiliki sifat pengemulsi, berbusa, dan pembentuk gel yang sangat baik. Oleh karena itu, pektin kulit semangka memiliki potensi besar untuk digunakan dalam industri pangan, seperti sebagai agen pengemulsi, agen penstabil, *foaming agent*, stabilisator, agen pengental, dan sebagai bahan kemasan seperti biofilm. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menilai efek pektin kulit semangka dalam makanan yang berbeda. Selain itu, eksplorasi metode

yang digunakan untuk mengekstrak pektin dianjurkan untuk membandingkan metode mana yang terbaik dan paling efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandel, V., Biswas, D., Roy, S., Vaidya, D., Verma, A., & Gupta, A. (2022). Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications. *Foods*, 11(17), 2683. <https://doi.org/10.3390/foods11172683>
- Funami, T., Zhang, G., Hiroe, M., Noda, S., Nakauma, M., Asai, I., Cowman, M. K., Al-Assaf, S., & Phillips, G. O. (2007). Effects of the proteinaceous moiety on the emulsifying properties of sugar beet pectin. *Food Hydrocolloids*, 21(8), 1319–1329. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.10.009>
- Guo, Z., Ge, X., Li, W., Yang, L., Han, L., & Yu, Q. (2021). Active-intelligent film based on pectin from watermelon peel containing beetroot extract to monitor the freshness of packaged chilled beef. *Food Hydrocolloids*, 119, 106751.
- Guo, Z., Ge, X., Yang, L., Gou, Q., Han, L., & Yu, Q. (2021). Utilization of watermelon peel as a pectin source and the effect of ultrasound treatment on pectin film properties. *LWT*, 147, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111569>
- Guo, Z., Wu, S., Lin, J., Zheng, H., Lei, H., Yu, Q., & Jiang, W. (2023). Active film preparation using pectin and polyphenols of watermelon peel and its applications for super-chilled storage of chilled mutton. *Food Chemistry*, 417, 135838.
- Hasanin, M. S., & Hashem, A. H. (2020). Eco-friendly, economic fungal universal medium from watermelon peel waste. *Journal of Microbiological Methods*, 168, 105802. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2019.105802>
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., & Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 140, 59–65.
- Lee, K. Y., & Choo, W. S. (2020). Extraction Optimization and Physicochemical Properties of Pectin from Watermelon (*Citrullus lanatus*) Rind: Comparison of Hydrochloric and Citric acid Extraction. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*, 5(1). <https://doi.org/10.36648/nutraceuticals.5.1.1>
- Mamiru, D., & Gonfa, G. (2023). Extraction and characterization of pectin from watermelon rind using acetic acid. *Heliyon*, 9(2), 1-12.
- Mashilo, J., Shimelis, H., & Ngwepe, R. M. (2022). Genetic resources of bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] and citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides* (L.H. Bailey) Mansf. ex Greb.)- implications for genetic improvement, product development and commercialization: A review. *South African Journal of Botany*, 145, 28–47. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.013>
- Méndez, D. A., Fabra, M. J., Gómez-Mascaraque, L., López-Rubio, A., & Martínez-Abad, A. (2021). Modelling the Extraction of Pectin towards the Valorisation of Watermelon Rind Waste. *Foods*, 10(4), 1-16.
- Mendez, D. A., Fabra, M. J., Martínez-Abad, A., Martínez-Sanz, M., Gorria, M., & López-Rubio, A. (2021). Understanding the different emulsification mechanisms of pectin: Comparison between watermelon rind and two commercial pectin sources. *Food Hydrocolloids*, 120, 106957.

- Méndez, D. A., Martínez-Abad, A., Martínez-Sanz, M., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2023). Tailoring structural, rheological, and gelling properties of watermelon rind pectin by enzymatic treatments. *Food Hydrocolloids*, 135, 108119.
- Méndez, D. A., Schroeter, B., Martínez-Abad, A., Fabra, M. J., Gurikov, P., & López-Rubio, A. (2023). Pectin-based aerogel particles for drug delivery: Effect of pectin composition on aerogel structure and release properties. *Carbohydrate Polymers*, 306, 120604. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120604>
- Pérez, J., Gómez, K., & Vega, L. (2022). Optimization and Preliminary Physicochemical Characterization of Pectin Extraction from Watermelon Rind (*Citrullus lanatus*) with Citric Acid. *International Journal of Food Science*, 2022, 1-10.
- Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., & Williams, P. A. (2017). Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*, 65, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.040>
- Petkowicz, C. L. O., & Williams, P. A. (2020). Pectins from food waste: Characterization and functional properties of a pectin extracted from broccoli stalk. *Food Hydrocolloids*, 107, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105930>
- Prakash Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., & Sridhar, R. (2014). Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate Polymers*, 101, 786–791.
- Ren, Y., Yu, D., Wu, J., Mao, S., Chen, P., Chen, S., Gao, Q., Ye, X., & Tian, J. (2023). Preparation and physicochemical properties characterization of hesperetin-grafted pectin conjugate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 243, 124887. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124887>
- Sari, A. M., Ishartani, D., & Dewanty, P. S. (2018). Effects of microwave power and irradiation time on pectin extraction from watermelon rinds (*Citrullus lanatus*) with acetic acid using microwave assisted extraction method. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 102, 1-5.